

Література

1. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм [Текст] / Ю. А. Цой. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
2. Каталог продуктов и услуг ДеЛаваль [Текст], 2011. – 372 с.
3. Де Монмоллен, Н. Системы «человек-машина» [Текст] / Н. Де Монмоллен. – М.: Мир, 1973. – 256 с.
4. Билибин, Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету конвейерных доильных установок молочных ферм промышленного типа [Текст] / Е. Б. Билибин. – М.: ВИЭСХ, 1977. – 32 с.
5. Викторова, И. Н. Расчет некоторых параметров конвейерных доильных установок [Текст] / И. Н. Викторова, Е. Н. Палецков // Механизация и электрификации социалистического сельского хозяйства. – 1974. – № 4. – С. 19–21.
6. Билибин, Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету доильных установок «Елочка» молочных ферм промышленного типа [Текст] / Е. Б. Билибин. – М.: ВИЭСХ, 1978. – 32 с.
7. Гельштейн, З. И. Уточненный расчет производительности доильных установок [Текст] / З. И. Гельштейн, А. Я. Вилцанс, А. Р. Латуре, М. Я. Лусис // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 10. – С. 18–23.
8. Крашаков, И. С. Производительность доильных установок «Карусель» [Текст] / И. С. Крашаков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 10. – С. 24–28.
9. Кучерук, В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 3 (67). – С. 4–7.
10. Королюк, В. С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст]: справочник / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

В статті описана інформаційна система з використанням розподілених баз даних, де обробка запитів виконується в порядку черги на кожній робочій станції. Виконано імітаційне моделювання системи, як системи масового обслуговування. Побудовані емпірична та теоретична функції стану системи. Виконане порівняння емпіричних даних з отриманими обчисленнями. Оцінений час перебування системи в стаціонарному стані

Ключові слова: імітаційне моделювання, черга, обробка запитів, система масового обслуговування, емпірична функція

В статье описана информационная система с использованием распределенных баз данных, в которой обработка запросов выполняется в порядке очереди на каждой рабочей станции. Выполнено имитационное моделирование системы, как системы массового обслуживания. Построены эмпирическая и теоретическая функции состояний системы. Выполнено сравнение эмпирических данных с полученными вычислениями. Оценено время пребывания системы в стационарном состоянии

Ключевые слова: имитационное моделирование, очередь, обработка запросов, система массового обслуживания, эмпирическая функция

УДК 378.147

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБРОБКИ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

М. С. Сафонов

Аспірант

Кафедра природничо-наукової підготовки

Одеський національний

політехнічний університет

пр. Шевченка, 1, г. Одеса, Україна, 65044

E-mail: safonov_ms@mail.ru

1. Вступ

Мета імітаційного моделювання полягає у відтворенні поведінки досліджуваної системи на основі результатів аналізу найбільш суттєвих взаємозв'язків між її елементами. Імітаційне моделювання дозволяє імітувати поведінку системи в часі. Можна імітувати поведінку певних об'єктів, реальні експерименти з

якими неможливі або небезпечні. З настанням епохи персональних комп'ютерів виробництво складних і унікальних виробів, як правило, супроводжується комп'ютерним тривимірним імітаційним моделюванням [1].

Імітаційний характер дослідження передбачає наявність логіко- або логіко-математичних моделей, що описують процес, який вивчається.

Введення прогностичної інформації, що дорівнює тривалості роботи системи, є одним з основних чинників ефективного управління. Величина мінімального випередження інформації є достатньою умовою ефективного управління лише за відсутності затримки в переробці інформації усередині системи управління.

При імітаційному моделюванні динамічні процеси об'єкту підміняються процесами, імітованими в абстрактній моделі, але з дотриманням основних правил (режимів, алгоритмів) функціонування оригінала. В процесі імітації фіксуються певні події і стани або вимірюються вихідні дії, по яких обчислюються характеристики якості функціонування системи.

З розвитком сучасної техніки отримало широке використання імітаційних моделей інформаційних систем або систем масового обслуговування, у зв'язку із складністю обробки реальної системи.

Імітаційне моделювання дозволяє розглядати процеси, що відбуваються в системі, практично на будь-якому рівні деталізації. У імітаційній моделі можна реалізувати практично будь-який алгоритм управлінської діяльності або поведінки системи. Крім того, моделі, які допускають дослідження аналітичними методами, також можуть аналізуватися імітаційними методами. Все це служить причиною того, що імітаційні методи моделювання в даний час стають основними методами дослідження складних систем.

2. Аналіз літературних даних

У [2, 3] імітаційне моделювання розглядається як один з найбільш поширених методів дослідження операцій і прогнозування. Згідно з дослідженням [4], ця технологія моделювання складних систем займає друге місце після математичного програмування і дозволяє проводити прогнози на основі отриманих даних від моделі, не зачіпаючи емпіричні дані.

Одним з найбільш поширених методів імітаційного моделювання по праву вважається дискретно-подієвий метод [5 – 7], в основі якого лежить концепція заявок. Історично цей підхід сходить до Джеффри Гордону, який розробив мову GPSS. Згідно [8, 9], вживання мови GPSS доцільно, коли заявки в системі є пасивними елементами, при цьому час від часу з ними відбуваються певні події, які приводять до зміни станів системи. Все це підтверджує доцільність використання даного підходу для імітаційного моделювання систем масового обслуговування.

Тому зусилля розробників програмних засобів імітації направлені, з одного боку, на створення спеціалізованих мов і систем, призначених для спрощення процесу створення моделей [7 – 9]. З іншого боку, в літературі [10, 11] досить часто наголошується той факт, що вживання універсальних мов програмування дозволяє дослідникові добитися більшої гнучкості при розробці, відладці і випробуванні моделі, чим при використанні спеціалізованих мов і середовищ. Також в даний час GPSS відсутні сучасні інтерактивні технології.

Тобто на мові GPSS достатньо складно представити процеси обробки даних на рівні алгоритмів. Крім того, модель представляє собою програму, а тому не має графічної інтерпретації, що ускладнює процес розробки

моделі, знижує наочність та обмежує використання прогностичних методів.

Згідно [11, 12] прогнозування на основі інтелектуальної системи fuzzy logic, що базуються на визначенні лінгвістичних змінних, орієнтовані на вузьке вживання. Тобто для кожної системи потрібний свій унікальний набір змінних (який, зазвичай, важко визначити), що безпосередньо впливає на якість прогнозування.

Необхідно також відзначити, що використання спеціалізованих мов моделювання не дозволяє інтегрувати імітаційну модель в реальну інформаційну систему [13]. А це ще раз говорить на користь використання класичних мов програмування і індивідуального підходу при моделюванні. Тому завдання в розробці імітаційних моделей з використанням прогностичних методів зостається і досі відкритим, що ставить перед автором завдання прогнозування стану конкретно визначеної системи, з чіткими характеристиками і параметрами її роботи (порядком формування черги запитів, виконання команд, реагуванні на певні події).

3. Мета і задачі дослідження

Інформаційні моделі систем масового обслуговування призначені для багаторазового проведення деякої однотипної елементарної операції, яку називають операцією обслуговування. Тому характерною рисою масового обслуговування є наявність потоку однорідних подій, які зазнають обслуговування в порядку черги.

Завданням даного дослідження є визначення майбутніх станів таких подій за допомогою прогресивної функції, з використанням прогностичних методів та знань про минулі стани системи.

Для досягнення мети необхідно визначити структуру системи й правила обслуговування, а також показники якості обслуговування, тобто деякі числові показники, за значеннями яких можна було б судити про якість функціонування досліджуваної системи масового обслуговування [14].

4. Модель інформаційної системи з використанням черг обробки даних об'єктами управління

Так як ми будемо розглядати систему, поведінка якої буде змінюватися лише в задані моменти часу, то дана модель є дискретною. Система змінюється при завершенні одержання потоку даних від об'єкта управління. В інших випадках у системі нічого суттєвого (з погляду імітаційного моделювання) не відбувається. Ця подія буде відбуватися в дискретні моменти часу.

Як і всі імітаційні моделі, з дискретними подіями, дана модель описує ситуацію із чергою, у яку прибувають потоки даних від об'єктів управління перед побудовою моделі інформаційної системи.

Отже в головній системі управління (ГСУ) можуть надходити два види потоку даних: відповіді на запити й результати виконання операцій за розкладом.

Вважається, що відповіді на запити від ГСУ завжди мають пріоритет перед результатами виконання операцій за розкладом.

Розглянута система складається з однієї черги й N робочих станцій (N об'єктів управління в інформаційній системі). Черга задана послідовністю обробки об'єктів управління на початкових пріоритетах, які обчислюються виходячи з параметрів робочих станцій.

У дійсності ми точно маємо лише дві події: надходження команди від ГСУ й виконання даної команди на станції з об'єктом управління з наступною відповіддю (рис. 1).

Далі в дискретній імітаційній моделі може використовуватися одна подія (команда або відповідь) для обох типів потоку даних, просто приписуючи події атрибут, який вказує на тип потоку, у нашому випадку, це буде порядковий номер об'єкта управління.

Приймаючи попередні аргументи, доходимо висновку, що події в моделі зводяться до події відправлення відповіді від об'єктів управління до ГСУ.

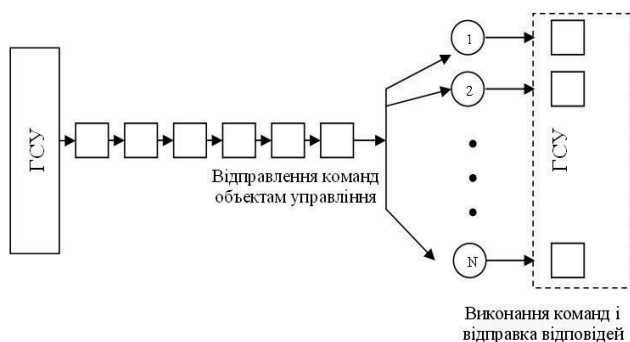


Рис. 1. Схема роботи системи з чергою

Логіку роботи імітаційної моделі можна описати в термінах подій, пов'язаних із надходженням команд від ГСУ й даних від об'єктів управління, у такий спосіб.

Подія, пов'язана з відправленням команди i -му об'єкту управління:

1. Якщо об'єкт управління вільний:

а) виконати команду на робочій станції, де розміщений об'єкт управління;

б) відправити результат виконання команди в ГСУ;

в) зафіксувати тривалість виконання команди.

2. Якщо об'єкт управління зайнятий – перейти до об'єкта управління $i+1$.

5. Визначення емпіричної функції розподілу часу виконання запитів об'єктами управління

Час виконання команд на робочих станціях не детермінований й обумовлюється складністю виконання команди й обчислювальними параметрами кінцевої робочої станції. Але якщо розглядати графік затримок і тривалостей виконання команд, то ми можемо спостерігати деяку закономірність, причина якої у виборі пріоритетів виконання для об'єктів управління. Варіативність зміни буде також спостерігатися при перерозподілі пріоритетів і навантажень на робочі станції з об'єктами управління.

Хоча варіативність не завжди означає випадковість зміни, доцільним є визначення емпіричної функції розподілу часу зміни поточного графіка навантажень

для використання її в аналізі описаної інформаційної системи.

Для цього дані по тривалості виконання команд, отримані від об'єктів управління, перетворюються в щільність імовірності випадкових величин за допомогою наступних кроків [15].

Крок 1. Відображаємо дані у вигляді відповідної частотної гістограми й підбираємо емпіричну функцію щільності ймовірності.

Крок 2. Використовуємо критерій згоди, щоб перевірити, чи збігається отримана емпірична функція щільності ймовірності з однієї з відомих щільностей імовірності.

Гістограма частот будується на основі статистичного ряду (вибірки) шляхом розподілу області зміни вихідних даних (від мінімального до максимального значення) на непересічні інтервали. При границях (I_{i-1} , I_i) часу обробки запиту і відповідна частота визначається як число вибірових значень x , які задовольняють нерівності $I_{i-1} < x < I_i$.

Наприклад, заповнимо наступну таблицю, яка містить статистичну інформацію про навантаження на робочі станції по тривалості виконання команд об'єктами управління (табл. 1). Нехай існує 5 робочих станцій (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5), на кожній з яких виконується по 4 запиту. Запити починають виконуватися одночасно. Після завершення запиту на станції – починає виконуватися наступний.

Таблиця 1

Номер запиту	Початкові дані				
	Час виконання запиту (сек)				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
1	10	5	9	12	10
2	12	7	9	11	10
3	11	6	10	11	9
4	13	6	11	11	11

Побудуємо гістограму тривалості виконання запитів (рис. 2).

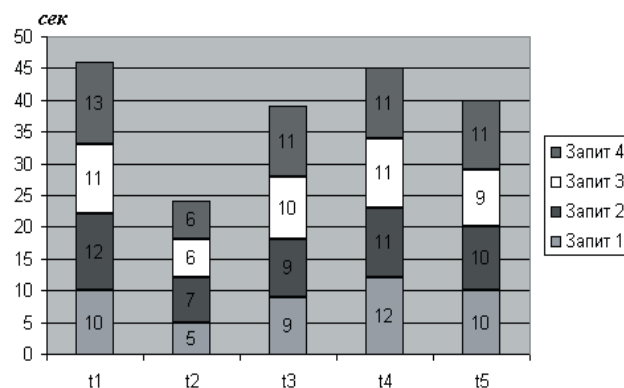


Рис. 2. Гістограма тривалості виконання запитів

Проаналізувавши дані гістограми, представленої на рис. 2, побудуємо таблицю відносних та накопичених частот запитів від ГСУ до об'єктів управління (табл. 2).

Таблиця 2

Дані гістограми

Інтервал часу (сек)	Частота, O_i (кількість виконаних запитів у даний проміжок часу)	Відносна частота, f_i	Накопичена відносна частота, F_i
[0, 5)	0	0	0
[5, 10)	2	0,1	0,1
[10, 15)	4	0,2	0,3
[15, 20)	2	0,1	0,4
[20, 25)	4	0,2	0,6
[25, 30)	2	0,1	0,7
[30, 35)	2	0,1	0,8
[35, 40)	1	0,05	0,85
[40, 45)	1	0,05	0,9
[45, 50)	2	0,1	1,0
Усього	20	1,0	

Стовпець відносної частоти f_i , обчислюється шляхом розподілу відповідних значень стовпця частоти O_i , на загальний обсяг спостережень ($n = 20$). Наприклад $f_2 = 2/20 = 0,1$. Значення F_i у стовпці накопичених частот обчислюються за допомогою послідовного підсумовування величин f_i . Так, $F_1 = f_1 = 0$ і $F_2 = F_1 + f_2 = 0 + 0,1 = 0,1$.

Величини f_i і F_i є дискретними еквівалентами щільності ймовірності й функції розподілу часу зміни t . Так як гістограма частот дає дискретну версію безперервного часу обслуговування, можна перетворити дискретну функцію розподілу в безперервну частково-лінійну функцію, з'єднуючи отримані точки відрізками прямих. На рис. 3 представлена емпірична щільність ймовірності й функція розподілу для розглянутого прикладу. Тут функція розподілу оцінюється в середніх точках інтервалів значень. Тепер можна оцінити математичне очікування \bar{t} емпіричного розподілу. Нехай N – число інтервалів у гістограмі; позначимо через t_i середню точку інтервалу i .

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^N f_i \bar{t}_i, s_i^2 = \sum_{i=1}^N f_i (\bar{t}_i - \bar{t})^2. \quad (1)$$

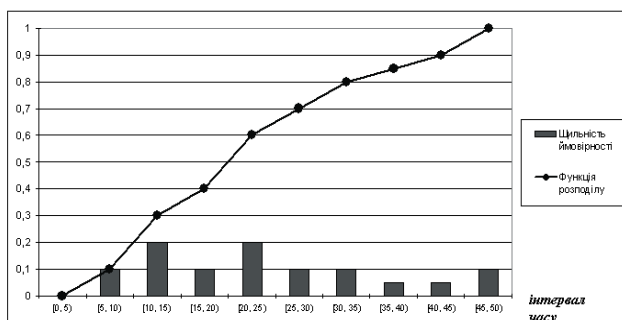


Рис. 3. Емпірична щільність ймовірності й функція розподілу

Застосовуючи формулу (1) для розглянутого прикладу, одержуємо наступне:

$\bar{t} = 0 \cdot 5 + 0,1 \cdot 10 + \dots + 0,1 \cdot 50 = 26,75$ сек. (середній інтервал часу між послідовними подіями для однієї робочої станції).

Тепер за допомогою критерію згоди можна перевірити, чи є вибірка, на основі якої отриманий емпіричний розподіл, представником конкретного ймовірного розподілу. Початкову оцінку можна зробити, порівнявши значення емпіричної функції розподілу з передбачуваною теоретичною функцією розподілу. Якщо значення цих функцій дуже не відрізняються друг від друга, то, ймовірно, розглянута вибірка отримана із запропонованого теоретичного розподілу. Це початкове твердження може бути надалі підтверджене за допомогою критерію згоди [16]. Найбільш поширеним є: негативний експонентний розподіл; біноміальний розподіл; розподіл Пуассона; нормальний розподіл [17]. Перевіримо дані таблиці на належність передбачуваному експонентному розподілу.

Першим завданням є уточнення параметрів щільності ймовірності й функції розподілу, які визначають теоретичний розподіл. Раніше було знайдено $\bar{t} = 26,75$ сек., тому $\lambda = 1/26,75 = 0,037$ для передбачуваного експонентного розподілу [18, 19]:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0. \quad (2)$$

Згідно (2) відповідна щільність ймовірності й функція розподілу мають такий вигляд:

$$f(t) = 0,037e^{-0,037t}, t > 0. \quad (3)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-0,037t}, T > 0. \quad (4)$$

Використаємо тепер функцію розподілу $F(T)$ для обчислення її значень у точках $T = 5, 10, \dots, 50$ і порівняння їх з емпіричними значеннями F_i .

Результати порівняння показані на рис. 4.

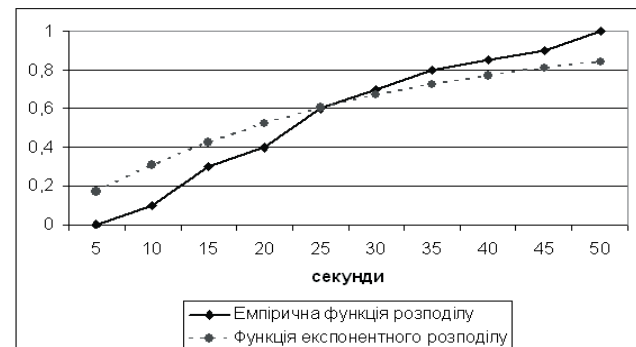


Рис. 4. Порівняння емпіричної й теоретичної функцій розподілу

Згідно графіку емпіричного розподілу можна прийняти знаходжуваний розподіл, як експонентний.

На підставі отриманих результатів моделі системи (рис. 2) оцінимо її час перебування в стаціонарному стані, обчисливши формулу:

$$\Delta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta_i}{m}, \quad (5)$$

де Δ_i поточні проміжки часу сталості системи, обчислюється як різниця часу наступного події й часу попереднього події;

m – кількість спостережень за системою.

Згідно формули (5), визначимо проміжки часу, коли система знаходилась в стані спокою та на основі цього побудуємо таблицю сталості системи із визначенням загального часу її стаціонарності (табл. 3).

Таблиця 3

Визначення проміжків часу сталості системи

Сегмент проміжку	Δ_i (сек)		Сегмент проміжку	Δ_i (сек)	
1	5-0	5	9	24-23	1
2	9-5	4	10	28-24	4
3	10-9	1	11	29-28	1
4	12-10	2	12	33-29	4
5	18-12	6	13	34-33	1
6	20-18	2	14	39-34	5
7	22-20	2	15	40-39	1
8	23-22	1	16	45-40	5
			17	46-45	1
$\sum_{i=1}^m \Delta_i$					46

Обчислюємо середнє значення часу перебування в стаціонарному стані:

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{46}{17} = 2,7 \text{ (сек)}. \quad (6)$$

Стаціонарність випадкового процесу означає незмінність у часі його імовірнісних закономірностей. У даній моделі стаціонарність показує ступінь інваріантності кінцевих розподілів виконання запитів щодо зсуву часу.

На рис. 5 представлена діаграма співвідношення поточного стану сталості системи від його середнього значення.

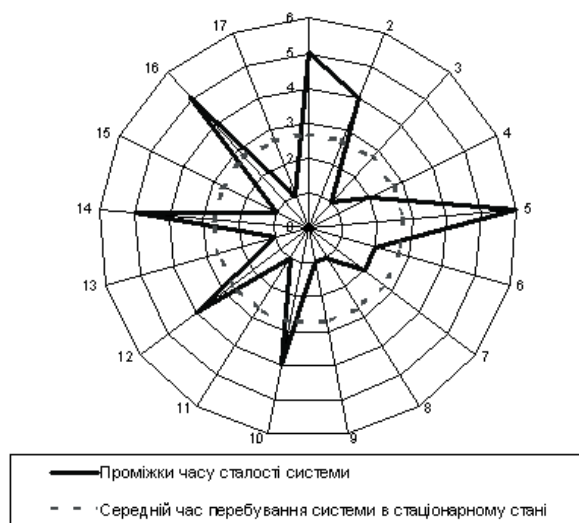


Рис. 5. Порівняльна діаграма ступеня стаціонарності системи

Теорія стаціонарних процесів дозволяє порівняно просто робити розрахунки для багатьох практичних випадків. Тому допущення про стаціонарність іноді доцільно робити також і для тих випадків, коли випадковий процес хоча і нестаціонарний (як ми бачимо на рис. 5), але на певних відрізках часу роботи системи статистичні характеристики сигналів не встигають істотно змінитися.

6. Висновки

При виборі даних постійно виникають завдання знаходження критеріїв відбору. Чим більш віддалені в часі емпіричні дані, тим менше вони заслуговують на довіря, оскільки не несуть достатньої інформації про істинне співвідношення між причинами і наслідками. Прогнозування стану інформаційної системи повинно орієнтуватися на її минулий стан. Надійність прогнозування залежить від точності одержаної й опрацьованої інформації – фактичних показників минулого.

Отримана теоретична функція розподілу в повній мірі відображає прогнозований стан інформаційної системи з використанням розподілених баз даних з певною вірогідністю. В процесі імітації було виявлено, що середнє значення відхилення теоретичного розподілу від емпіричного не перевищує 10 %, що вказує на доцільність використання експоненціальної функції в якості прогнозування для даної системи з чергою.

Практичне застосування стаціонарності ґрунтується на тому, що для стаціонарного процесу різниця характеристик будь-якої випадкової вибірки й генеральної сукупності прямує до нуля. Отриманий середній час перебування системи в стаціонарному стані 2,7 сек. Враховуючи розвиток сучасної техніки, цього більш ніж достатньо для прогнозування наступного стану інформаційної системи, що дозволить своєчасно та рівномірно розподілити навантаження між робочими станціями.

Література

1. Муха, В. С. Обчислювальні методи та комп'ютерна алгебра: навч.-метод. посібник [Текст] : 2-е изд., Испр. і доп. / В. С. Муха. – К.: БДУІР, 2010. – 4 с.
2. Chaudhuri, S. International factor mobility, informal interest rate and capital market imperfection: a general equilibrium analysis [Text] / S. Chaudhuri, M. R. Gupta. – University Library of Munich. – Munich: MPRA Paper, 2011. – P. 55–60.
3. Englert, P. A. Model-based Imitation Learning by Probabilistic Trajectory Matching. [Text] : proc. of the inter. conf. / P. A. Englert, J. P. Paraschos, M. P. Deisenroth / Robotics and Automation. – Tohoku, Japan, 2013. – P. 173–180.
4. Белкин, В. А. Развитие теории циклических колебаний процента [Текст] / В. А. Белкин, С. А. Полуяхтов // Научный вестник Уральского академии государственной службы: политология, социология, экономика, право. – 2011. – Вып. 4 (17). – С. 87–94.
5. Levchenko, N. G. Imitating model of the information management system in a maritime branch enterprise. [Text] / N. G. Levchenko // Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 107–112.

6. Tambovcevs, A. Using Gis for Freight Supply Chain Modelling [Текст] : сб. докл. 2 межд. науч.-прак. конф. / А. Tambovcevs, Y. Merkurjev // Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем. – ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2013. – С. 23–31.
7. Бабкин, Е. А. О формах представления имитационных событийных моделей дискретных систем [Текст] : сб. докл. 6 всерос. науч.-прак. конф. / Е. А. Бабкин, В. В. Разиньков // Имитационное моделирование. Теория и практика. – Казань: ФЭН. – 2013. – Т. 1. – С. 109–113.
8. Якимов, И. М. Применение системы имитационного моделирования GPSS World с расширенным редактором для обучения в ВУЗе [Текст] : сб. докл. 6 всерос. науч.-прак. конф. / И. М. Якимов, Ю. Г. Старцева // Имитационное моделирование. Теория и практика. – Казань: ФЭН. – 2013. – Т. 1. – С. 367–371.
9. Власов, С. А. Имитационные исследования с использованием GPSS WORLD - новые возможности [Текст] / С. А. Власов, В. В. Девятков, Ф. В. Исаев, М. В. Федотов // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2012 – №7. – С. 117–123.
10. Змеев, О. А. Шаблон объектного проектирования для реализации функциональности процесса моделирования в имитационных моделях систем массового обслуживания [Текст] / О. А. Змеев, А. В. Лезарев // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – С. 108–111.
11. Bajestani, N. S. Forecasting TAIEX using improved type 2 fuzzy time series.”[Text] / N. S. Bajestani, A. Zare // Expert Systems with Applications. – 2011. – № 38 (5). – P. 114–121.
12. Henning, Baars Evaluation of RFID applications for logistics: a framework for identifying, forecasting and assessing benefits [Text] / Baars Henning, Daniel Gille, Jens Strüker // European Journal of Information Systems. – 2012. – № 32 (1). – P. 578–591.
13. Змеев, О. А. Классификация коммерческих систем имитационного моделирования [Текст] : матер. всерос. конф. / О. А. Змеев, А. В. Приступа // Наука и практика: Диалоги нового века. – Анжиро-Судженск, 2012. – С. 93–95.
14. Хинчин, А. Я. Работы по математической теории массового обслуживания [Текст] / А. Я. Хинчин. – М.: Либроком, 2010 – 240 с.
15. Таха Хемди, А. Введение в исследование операций [Текст] / Хемди А. Таха; 7-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2005. – 912 с.
16. Сафонов, М. С. Прогнозування стану показників об’єктно-орієнтованої моделі в інформаційній системі [Текст] : зб. наук. пр. / М. С. Сафонов, О. Є. Яковенко // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – 2013. – Вип. 3 (4). – С. 92–98.
17. Каталевский, Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении [Текст] / Д. Ю. Каталевский. – М.: Издательство Московского университета, 2011. – 304 с.
18. Основные модели информационных систем и способы увеличения их эффективности [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.e-lines.ru/info/63-modeli-informacionnyh-system> (13.02.13).
19. Сафонов, М. С. Моделирование управления потоками данных в информационной системе [Текст] : сб. науч. тр. / М. С. Сафонов, А. Е. Яковенко // Одесский политехнический университет. – Компьютерные и информационные сети и системы. – 2013. – Вип. 1. – С. 97–103.